Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 1, Spring 2024, p. 213-233

Investigating the Effect of Nitrogen and Irrigation on Some Physiological, Quantitative and Qualitative Traits of Greenhouse Tomato

S. Mohammadzade[1], M. Goldani[2]*, F. Yaghoubi[3], M. Bannayan[4]

1, 2, 3 and 4- PhD Student, Associate Professor, Postdoctoral Researcher and Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: goldani@ferdowsi.um.ac.ir)

Received:	11-11-2023	**How to cite this article:**
Revised:	13-12-2023	Mohammadzade, S., Goldani, M., Yaghoubi, F., & Bannayan, M. (2024). Investigating the effect of nitrogen and irrigation on some physiological, quantitative and qualitative traits of greenhouse tomato. *Journal of Horticultural Science, 38*(1), 213-233. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023.85208.1301
Accepted:	31-12-2023	
Available Online:	31-12-2023	

Introduction

Increasing the tolerance to drought and nitrogen stress in tomato cultivars is essential for the sustainable and environmentally friendly production of this product. Also, knowing the morpho-physiological, biochemical and molecular responses to drought and nitrogen stress is important for a comprehensive understanding of plant water tolerance mechanisms and nitrogen limitation conditions in higher plants. Therefore, the purpose of this study was to investigate the effect of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on the quantitative and qualitative characteristics of tomatoes in different Cluster rows under greenhouse conditions.

Materials and Methods

The experiment was conducted at the research greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, in two years, 2021-02 and 2022-03. The experiment was set up as split-plot layout based on randomized complete block design with three replications. Irrigation levels were considered as the main plot at three levels: 75% (I_{75}), 100% (I_{100}), and 125% (I_{125}) of the crop water requirement. Nitrogen fertilizer was considered as the subplot at four levels: control (no nitrogen), 75 kg ha^{-1} (7.5 g m^{-2}), 150 kg ha^{-1} (15 g m^{-2}), and 225 kg ha^{-1} (22.5 g m^{-2}) from urea as the nitrogen source. Tomato seeds (Newton cultivar) were sown in polyethylene seedling trays with a coco peat and perlite mixture as the substrate. The seedlings were transplanted to the main field at 15 cm height with 3-4 true leaves. In all stages of growth, consistent agricultural practices were applied, including weed control, pest and disease management. Fertilization for tomato plants was based on soil analysis. Initially, after transplanting the seedlings, a complete fertilizer with high phosphorus (NPK 10-52-10) was applied at a ratio of 1.5 kg per thousand plants. In the subsequent stages, complete fertilizers (NPK 20-20-20) and high-potassium fertilizers (NPK 20-20-36) were applied through irrigation. Throughout the plant's growth stages, to prevent potential deficiencies and harm to growth and fruit development, micronutrients were applied as foliar sprays.

Results and Discussion

The results for all three Clusters showed that although nitrate accumulation was higher in the first year compared to the second year, in both years, nitrate accumulation was higher at I_{75} and 225 kg ha^{-1} nitrogen compared to the other treatments. The highest nitrate accumulation in the sixth (6.12 mg.kg^{-1}) and seventh (6.29 mg.kg^{-1}) Clusters was observed in I_{75} and 225 kg ha^{-1} nitrogen treatment in the first year. In the eighth Cluster, contrary to the sixth and seventh Clusters, the highest nitrate accumulation was obtained in I_{100} and 225 kg/ha nitrogen (6.43 mg.kg^{-1}) in the first year. Chlorophyll decreased with stress but increased with nitrogen levels. In

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.85208.1301

all four Clusters, the highest chlorophyll a content was obtained in I_{100} and 225 kg ha^{-1} nitrogen, with values of 3.75, 3.70, 3.30, and 3.85 mg g^{-1} fresh weight, respectively. The highest fruit number per square meter was obtained in I_{125} and 225 kg ha^{-1} nitrogen treatment in the second year (260 fruits), although there was no significant difference compared to the first year. Furthermore, this treatment produced 11% more fruits than the highest fruit number at 100% moisture. The highest single fruit weight was obtained in I_{125} and 225 kg ha^{-1} nitrogen treatment in the first year of the experiment (254 g), although there was no significant difference compared to the second year. Additionally, this treatment showed no significant difference in fruit weight compared to the 225 kg ha^{-1} nitrogen and I_{100} treatment in the first year but was 11% higher in the second year. The highest yield (65.1 kg m^{-2}) was obtained at I_{125} and 225 kg ha^{-1} nitrogen. However, in the control treatment without fertilizer, there was no significant difference in yield at I_{100} and I_{125}. Furthermore, the highest water use efficiency was observed at I_{100}, followed by I_{75}. In all fertilizer treatments, I_{125} treatment had the lowest water use efficiency. The highest water use efficiency (285 kg m^{-3}) was obtained at I_{100} and 225 kg ha^{-1} nitrogen.

Conclusion

In general, the results demonstrated that while excessive nitrogen fertilizer increased nitrate accumulation at different irrigation levels, the increased use of irrigation water reduced nitrate accumulation in tomato fruits while improved yield. Moreover, no significant difference in fruit yield was observed between I_{125} and I_{100}, but optimum yield and favorable water use efficiency were obtained with less water consumption. Based on the results of this experiment, the recommended treatment under greenhouse conditions is irrigation at 100% of the FC and the use of 250 kg ha^{-1} nitrogen.

Keywords: Carotenoids, Crop water requirement, Nitrate accumulation, Water requirement

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۱، بهار ۱٤۰۳، ص. ۲۳۳-۲۱۳

تأثیر میزان نیتروژن و آبیاری بر برخی صفات فیزیولوژیک، کمی و کیفی میوه گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم 'نیوتن'

سعید محمدزاده[۱]- مرتضی گلدانی[۲*]- فاطمه یعقوبی[۳]- محمد بنایان اول[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰

چکیده

مدیریت پایدار مصرف آب و کودهای نیتروژن برای حصول تولید بالا حائز اهمیت است. به‌منظور بررسی سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن، آزمایشی در دو سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ به صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. میزان آب آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه و عنصر غذایی نیتروژن به‌عنوان عامل فرعی در چهار سطح صفر (شاهد)، ۷۵ (۷/۵ گرم در متر مربع)، ۱۵۰ (۱۵ گرم در متر مربع) و ۲۲۵ (۲۲/۵ گرم در متر مربع) کیلوگرم در هکتار از منبع اوره در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان عملکرد (۶۵/۱ کیلوگرم در متر مربع) در آبیاری ۱۲۵ درصد نیاز آبی و کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. هرچند، در تیمار شاهد بدون کود، آبیاری ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری در عملکرد نداشتند. در تمام تیمارهای کودی، بیشترین میزان کارایی مصرف آب در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد و تیمارهای ۷۵ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی به ترتیب در جایگاه دوم و سوم قرار گرفتند. بیشترین میزان کارایی مصرف آب (۲۸۵ کیلوگرم بر متر مکعب) در تیمار ۱۰۰ در صد نیاز آبی و کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. بیشترین میزان تجمع نیترات در خوشه ششم (۶/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) و هفتم (۶/۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی و کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار و در خوشه هشتم (۶/۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰ در صد نیاز آبی و مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به‌دست آمد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد هر چند مصرف زیاد کود نیتروژن باعث افزایش تجمع نیترات در سطوح مختلف آبی شد، ولی افزایش حجم آبیاری علاوه‌بر افزایش خصوصیات عملکردی، میزان تجمع نیترات را در گوجه‌فرنگی کاهش داد. همچنین، تفاوت عملکرد میوه در آبیاری ۱۲۵ و ۱۰۰ در صد نیاز آبی محسوس نبود و با مصرف کمتر آب، مقدار تولید بهینه و کارایی مصرف بهبود یافت. لذا باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده بهترین تیمار مورد توصیه در شرایط گلخانه‌ای، آبیاری به میزان ۱۰۰ در صد نیاز آبی و مصرف ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تجمع نیترات، عملکرد، کاروتنوئید، نیاز آبی

مقدمه

در کمتر از ۳۰ سال آینده، بشریت با چالش تغذیه ۹/۸ میلیارد نفر روبرو خواهد شد که نیاز به افزایش چشمگیر تولیدات جهانی کشاورزی دارد. بدون شک استفاده بهینه از کودهای شیمیایی و نیتروژن (N) تأثیرگذارترین روش در کشاورزی مدرن جهت افزایش تولیدات است. کشاورزی آبی، ۸۰ درصد از کل آب شیرین موجود را مصرف می‌کند که این منبع طبیعی را به‌طور فزاینده‌ای کمیاب و بی‌کیفیت می‌کند (FAO, 2015). نیتروژن یک عامل محدودکننده اصلی عملکرد محصول است (Liang *et al*., 2019). با این حال، افزایش مصرف کود نیتروژن اثرات جدی بر سلامت انسان و محیط‌زیست دارد و باعث تأثیرگذاری منفی بر اکوسیستم‌های آب شیرین، اسیدی شدن خاک‌های کشاورزی و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد (Liang *et al*., 2019).

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، پژوهشگر پسادکتری و استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: goldani@ferdowsi.um.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.85208.1301

بنابراین، تلاش در جهت مدیریت پایدار مصرف آب و کودهای نیتروژن برای تغذیه جمعیت رو به رشد جهان امری ضروری است.

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* Mill.) هم برای بازارهای تازه و هم برای بازارهای فرآوری، با تقریباً ۱۸۲/۲میلیون تن تولید در بیش از ۵/۷ میلیون هکتار (Heuvelink *et al*., 2020؛ FAO, 2020) مهم‌ترین محصول سبزیجات در جهان است (Zeinali Pour *et al*., 2024). علاوه بر این، گوجه‌فرنگی به‌دلیل اهمیت اقتصادی، تنوع ژنوتیپی زیاد، و ژنومی که اخیراً به‌طور کامل توالی‌یابی شده است، به‌عنوان یک سیستم مدل در حال ظهور است (Mahmoodnia *et al*., 2013; Heuvelink *et al*., 2020). آمارنامه کشاورزی ایران (Iranian Ministry of Agriculture, 2023) در سال ۱۴۰۱ نشان داد سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی در ایران ۱۰۳ هزار هکتار و در خراسان رضوی ۱۱۸۹ هکتار بود که از این سطوح به‌ترتیب ۵ میلیون تن و ۶۱ هزار تن محصول برداشت شد.

تولید گوجه‌فرنگی به مقادیر زیادی آب و کود نیتروژن نیاز دارد، به دلیل فصول رشد طولانی و دمای بالای گلخانه، گوجه‌فرنگی نسبت به کمبود آب و نیتروژن کاملاً حساس است (Du *et al*., 2018). تأمین آب کافی برای رشد رویشی و زایشی ضروری است و به‌ویژه در مراحل گلدهی و بزرگ شدن میوه مهم است (Machado *et al*., 2021). به طور مشابه، مقدار مناسب کود نیتروژن در طول رشد گیاه حداکثر عملکرد و مزایای اقتصادی را ممکن می‌سازد، زیرا نیتروژن یک عنصر پر مصرف ضروری است که می‌تواند بر چندین جنبه از رشد گیاه و مسیرهای متابولیک، از جمله روابط آب و فتوسنتز تأثیر بگذارد (Du *et al*., 2018).

نتایج مطالعات گاتا و همکاران (Gatta *et al*., 2015) نشان دادند که تأثیر کم‌آبیاری بر شاخص‌های کمی و کیفی محصول گوجه‌فرنگی کاملا برعکس هم است. یعنی با اعمال کم‌آبیاری از کمیت میوه کاسته شد ولی بر کیفیت آن افزوده می‌شود. کوی و همکاران (Cui *et al*., 2020) اثر انواع رژیم‌های آبیاری و سیستم‌های تغذیه‌ای را بر روی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در کشت بدون خاک بررسی کردند. کارایی مصرف آب حدود ۳۳–۵۵ کیلوگرم بر متر مکعب در فصل پاییز و حدود ۲۶–۳۵ کیلوگرم در هکتار در فصل بهار محاسبه شد. همچنین نتایج آزمایش حاجی‌بلند و همکاران (Hajiboland *et al*., 2015) نشان داد کمبود ازت باعث افزایش شدت تنش در میوه گوجه‌فرنگی شد و با افزایش میزان نیتروژن بر میزان شدت خشکی کاسته شد و باعث بهبود عملکرد شد.

افزایش تحمل به خشکی و تنش نیتروژن در ارقام گوجه‌فرنگی در راستای تولید پایدار و سازگار این محصول با محیط‌زیست امری ضروری است. همچنین آگاهی از پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی به تنش خشکی و نیتروژن امری مهم برای درک جامع مکانیسم‌های تحمل گیاه به آب و شرایط محدودیت نیتروژن در گیاهان عالی است. بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک، کمی و کیفی گوجه‌فرنگی در خوشه‌های مختلف برداشت در شرایط گلخانه است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن، آزمایشی در دو سال ۱۴۰۰–۰۱ و ۱۴۰۱–۰۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. این آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. میزان آب آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه و عنصر غذایی نیتروژن به‌عنوان عامل فرعی در چهار سطح صفر (شاهد)، ۷۵ کیلوگرم در هکتار (۷/۵ گرم در متر مربع)، ۱۵۰ (۱۵ گرم در متر مربع) و ۲۲۵ (۲۲/۵ گرم در متر مربع) از منبع اوره در نظر گرفته شد.

قبل از انجام آزمایش جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک برای هر دو سال نمونه برداری به‌صورت تصادفی انجام و به آزمایشگاه منتقل شد که نتایج آن در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil of the test site

ماده آلی O.M (%)	کربن آلی O.C (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	pH	K (mg.kg^{-1})	P (mg.kg^{-1})	N (%)	بافت خاک Soil texture	سال Year
0.1	0.058	1.09	8.54	556	4.6	0.044	شنی لومی Loamy sandy	2021-22
1.24	0.072	2.18	8.36	564	8.75	0.058	شنی لومی Loamy sandy	2022-23

بذور گوجه‌فرنگی (رقم 'نیوتن') در سینی‌های نشاء پلی‌اتیلنی با بستر کوکوپیت و پرلیت (نسبت ۵۰ درصد کوکوپیت، ۳۰ درصد پیت‌ماس و ۲۰ درصد پرلیت) کشت شد و در مرحله ۳ تا ۴ برگ اصلی و رسیدن گیاه به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر به زمین اصلی انتقال داده شد. کشت نشاء گوجه‌فرنگی در کرت‌هایی با مساحت ۱/۳۷ متر مربع (طول هر کرت ۲/۳ و عرض ۰/۶ متر) به تعداد ۳۶ کرت انجام شد. فاصله پشته‌ها از هم ۶۰ سانتی‌متر، فاصله راهروها ۸۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها از هم روی ردیف ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به‌منظور اعمال بهتر و دقیق تیمارهای آبیاری بین کرت‌ها در طول ردیف و همچنین بین پشته‌ها با استفاده از پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی پوشانده شد و از نفوذ و تداخل تیمارهای آبیاری و زه‌آب آن‌ها جلوگیری به‌عمل آمد.

تیمارهای کود نیتروژن در طی هشت مرحله بر اساس شروع تشکیل پریموردیا یا آغازین‌های خوشه‌ای گوجه‌فرنگی مصرف شد. تیمارهای آبیاری نیز بعد از استقرار کامل نشاء (در مرحله شش تا هشت برگی) اعمال شد. برای این منظور از تبخیر روزانه تشت استفاده شد. جهت برآورد نیاز آبی گیاه در تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی از معادله ۱ استفاده شد.

$$ET_c=K_c \times ET_o$$ معادله (۱):

در این رابطه، ET_c بیانگر تبخیر و تعرق گیاه و K_c ضریب گیاهی می‌باشد که مقادیر آن برای مراحل مختلف رشد گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای از مطالعه فرزامنیا و همکاران (Farzamnia *et al.*, 2015) به‌دست آمد. ET_o نیز نشان‌دهنده تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر در روز) می باشد که با استفاده از معادله ۲ برآورد شد.

$$ET_o=Kp \times E_o$$ معادله (۲):

در این رابطه، Kp نشان‌دهنده ضریب تشت است که مقدار آن با توجه به مطالعه امیری و همکاران (Amiri *et al.*, 2021) برای تشت کوچک ۰/۹۴ در نظر گرفته شد. E_o نیز بیانگر میزان تبخیر از تشت (میلی‌متر در روز) است.

پس از برآورد تبخیر و تعرق گیاه در تیمار شاهد با اعمال ضرایب ۰/۷۵ و ۱/۲۵ حجم آب آبیاری مورد نیاز برای تیمارهای ۷۵ و ۱۲۵ درصد آبیاری مشخص شد. زمان آبیاری نیز بر اساس اندازه‌گیری رطوبت خاک در تیمار شاهد با استفاده از دستگاه TDR (Time-Domain Reflectometry) تعیین شد.

در تمام مراحل مختلف رشد مراقبت‌های زراعی از جمله کنترل علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها به‌طور یکنواخت اعمال شد. تغذیه کودی بوته‌های گوجه‌فرنگی بر اساس آنالیزهای خاک محاسبه و در مراحل اولیه رشد بعد از انتقال نشاء کود کامل با فسفر بالا (NPK 10-52-10) به‌نسبت ۱/۵ در هزار و در مراحل بعدی کودهای کامل (NPK 20-20-20) و پتاس بالا (NPK 20-20-36) به‌صورت کود آبیاری انجام شد. در طی مراحل رشد گیاه، به‌منظور جلوگیری از کمبود احتمالی و خسارت به رشد و میوه عناصر میکرو به‌صورت محلول‌پاشی به گیاه اضافه شد.

به‌منظور اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی، نمونه‌برداری از جوان ترین برگ‌های توسعه‌یافته گیاهان در طی چهار نوبت با شروع رسیدگی خوشه پنجم انجام شد. اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها به روش آرنون (Arnon, 1967) انجام شد و تعیین مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها از معادلات ۳، ۴ و ۵ استفاده شد.

معادله (۳): Chlorophyll a (mg/g FW) = (19/3 ×A663-0/86×A645) V/100W

معادله (۴): Chlorophyll b (mg/g FW) = (19/3×A645-3/6×A663) V/100W

معادله (۵): Carotenoids (mg/g FW) = 100(A470)-3.27(mg chl a)-104(mg chl b)/227

V= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر

W= وزن تر نمونه بر حسب گرم

میزان نیتروژن جذب‌شده با استفاده از روش کجلدال اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری تجمع نیترات با میکروکجلدال اندازه‌گیری شد.

در هر تیمار وزن تک میوه‌ها در هر خوشه با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. همچنین، در پایان دوره رشد، تعداد میوه در متر مربع محاسبه شد. از سوی دیگر، در طی مراحل رشد گیاه تعداد و وزن میوه‌ها در تمام خوشه‌ها با ترازوی دیجیتال توزین و یادداشت برداری شد و در زمان برداشت کل بوته در اتمام فصل، رشد و عملکرد کل بر حسب کیلوگرم در متر مربع محاسبه شد.

کارایی مصرف آب با استفاده از معادله ۷ (Wan *et al.*, 2007) محاسبه شد.

$$WUE=Y/TUM$$ معادل (۷):

در این معادله، WUE کارایی مصرف آب آبیاری بر حسب کیلوگرم در متر مکعب، Y وزن میوه تازه گوجه‌فرنگی بر حسب کیلوگرم در متر مربع و TUM حجم کل آب مصرفی بر حسب متر مکعب در متر مربع می‌باشد.

ابتدا داده‌ها از نظر داشتن پراکنش نرمال مورد آزمون قرار گرفت. به‌منظور بررسی همگنی واریانس خطاهای آزمایشی طی دو سال زراعی مورد بررسی از آزمون بارتلت استفاده شد و با توجه به اثبات همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی، داده‌ها مورد تجزیه مرکب قرار گرفتند. تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 انجام شد. مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی با استفاده از

آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

رنگدانه‌های فتوسنتزی

کلروفیل a

با توجه به نتایج تجزیه واریانس جدول ۲ برای خوشه‌های پنجم تا هشتم، اثرات اصلی آبیاری و کود نیتروژن و برهم‌کنش دوگانه سال × آبیاری و دوگانه آبیاری × کود نیتروژن ($p \leq 0.01$) بر میزان کلروفیل a معنی‌دار بود. مقایسه میانگین صفات برای برهم‌کنش سال و آبیاری نشان داد در هر دو سال زراعی با کاهش آبیاری، میزان کلروفیل a کاهش یافت. بیشترین میزان کلروفیل a در خوشه پنجم (۲/۹۵ میلی گرم در گرم وزن تر) در سال دوم و آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی، خوشه ششم (۲/۸۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در آبیاری ۱۲۵ درصد نیاز آبی و سال دوم، خوشه هفتم (۲/۸۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در سال اول و آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و خوشه هشتم بدست آمد و کمترین میزان این صفت برای خوشه پنجم (۲/۰۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، ششم (۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و هفتم (۱/۹۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در سال اول و آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی و برای خوشه هشتم (۱/۹۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در سال دوم و آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی بدست آمد (جدول ۳). همچنین نتایج برهم‌کنش آبیاری با کود نیتروژن نشان داد هرچند با اعمال تنش از میزان این صفت کاسته شد ولی با افزایش مقدار نیتروژن، کلروفیل a افزایش یافت. در هر چهار خوشه، بیشترین میزان کلروفیل a در آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب با مقادیر ۳/۷۵، ۳/۷۰، ۳/۳۰ و ۳/۸۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر بدست آمد در حاکی که کمترین میزان این صفت در خوشه‌های مختلف با مقادیر ۱/۶۵، ۱/۷۰، ۱/۵۵ و ۱/۴۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر به‌ترتیب در خوشه پنجم تا هشتم در تیمار آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی و شاهد بدون کود نیتروژن حاصل شد (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آبیاری و کود نیتروژن بر محتوی کلروفیل a برگ گوجه‌فرنگی رقم'نیوتن' در دو سال (۰۲-۱٤۰۱ و ۰۱-١٤٠٠)

Table 2- ANOVA for the effect of irrigation and nitrogen fertilizer on the chlorophyll a content in tomato cv. Newton leaf in two years (2021-22 and 2022-23)

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares			
		پنجمین کلاستر 5th Cluster	ششمین کلاستر 6th Cluster	هفتمین کلاستر 7th Cluster	هشتمین کلاستر 8th Cluster
سال Year (Y)	1	0.011ns	0.405ns	0.061ns	0.125ns
خطا Error (year)	4	0.217	0.227	0.214	0.185
آبیاری Irrigation (I)	2	5.34**	1.90**	5.06**	6.26**
Y × I	2	0.034*	0.499**	0.054**	0.005**
خطا Error I (y)	8	0.005	0.007	0.004	0.001
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer (N)	3	5.43**	6.25**	3.63**	7.29**
I × N	6	0.406**	0.999**	0.244**	0.543**
Y × N	3	0.081ns	0.285ns	0.018ns	0.048ns
Y × I × N	6	0.029ns	0.139ns	0.080ns	0.118ns
خطای کل Total error	36	0.088	0.106	0.063	0.076
ضریب تغییرات C.V (%)		11.4	12.8	9.95	10.8

ns, *, **به‌ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, *, **: non-significant, and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۳- برهم‌کنش سال × آبیاری بر محتوی کلروفیل a برگ گوجه‌فرنگی رقم 'نیوتن' در خوشه‌های مختلف

Table 3- The interaction effect of year × irrigation on the chlorophyll a content of tomato cv. Newton leaf in different clusters

سال Year	آبیاری (٪ نیاز آبی) Irrigation (water requirement, %)	پنجمین کلاستر 5th Cluster	ششمین کلاستر 6th Cluster	هفتمین کلاستر 7th Cluster	هشتمین کلاستر 8th Cluster
2021-22	75	2.08c	2.00e	1.98d	2.00e
	100	2.90ab	2.70b	2.88a	2.83c
	125	2.88b	2.70b	2.83ab	2.98a
2022-23	75	2.05d	2.45d	2.03d	1.95f
	100	2.95a	2.58c	2.78b	2.73d
	125	2.78c	2.83a	2.70c	2.88b

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with common letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test at the 5% of probability level.

جدول ٤- برهم‌کنش آبیاری × کود نیتروژن بر محتوی کلروفیل a برگ گوجه‌فرنگی رقم'نیوتن' در خوشه‌های مختلف

Table 4- The interaction effect of irrigation ×nitrogen fertilizer on the chlorophyll a content of tomato cv. Newton leaf in different clusters

آبیاری (٪ نیاز آبی) Irrigation (water requirement, %)	نیتروژن Nitrogen fertilizer (kg.h^{-1})	پنجمین کلاستر 5th Cluster	ششمین کلاستر 6th Cluster	هفتمین کلاستر 7th Cluster	هشتمین کلاستر 8th Cluster
75	0	1.65f	1.70f	1.55e	1.45i
	75	1.95ef	2.10ef	2.00d	1.95gh
	150	2.45cd	2.70cd	2.30cd	2.30ef
	225	2.20de	2.40c-e	2.15cd	2.20fg
100	0	2.15de	1.80f	2.20cd	1.70hi
	75	2.50cd	2.35de	2.80b	2.55de
	150	3.30b	2.70cd	3.00ab	3.00bc
	225	3.75a	3.70a	3.30a	3.85a
125	0	2.00ef	1.70f	2.10cd	2.05fg
	75	2.70c	3.25b	2.40c	2.80cd
	150	3.20b	2.80c	3.25a	3.25b
	225	3.40b	3.30b	3.30a	3.60a

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with common letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test at the 5% of probability level.

کلروفیل b

تجزیه واریانس صفات نشان داد در خوشه پنجم، اثرات اصلی آبیاری و کود نیتروژن و برهم‌کنش دوگانه سال × آبیاری و دوگانه آبیاری × کود نیتروژن ($p \leq 0.01$)، در خوشه ششم و هفتم، اثرات اصلی آبیاری و کود نیتروژن و برهم‌کنش دوگانه سال × آبیاری، سال × کود نیتروژن، دوگانه آبیاری × کود نیتروژن و برهم‌کنش سه‌گانه سال × آبیاری × کود نیتروژن و در خوشه هشتم اثرات اصلی آبیاری و کود نیتروژن و برهم‌کنش دوگانه سال × آبیاری، سال × کود نیتروژن و دوگانه آبیاری × کود نیتروژن ($p \leq 0.01$) بر میزان کلروفیل b معنی دار بود (جدول ۵). نتایج برهم‌کنش سال و آبیاری نشان داد در خوشه پنجم و هشتم، در هر دو سال زراعی بیشترین میزان کلروفیل b در آبیاری ۱۲۵ درصد نیاز آبی بدست آمد. بیشترین میزان این صفت برای هر دو خوشه (به‌ترتیب ۱/۱۳ و ۱/۱۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در آبیاری ۱۲۵ درصد نیاز آبی و در سال دوم بدست آمد و کمترین مقادیر این صفت برای خوشه پنجم (به‌ترتیب ۰/۶۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در سال دوم و آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی و برای خوشه هشتم (۰/۷۲۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در سال اول و آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی بدست آمد (جدول ۶). همچنین نتایج برهم‌کنش آبیاری با کود نیتروژن نشان داد هرچند با اعمال تنش از میزان این صفت کاسته شد ولی با افزایش مقدار نیتروژن، کلروفیل b افزایش یافت. در خوشه پنجم و هشتم، بیشترین میزان کلروفیل a در آبیاری ۱۲۵ درصد نیاز آبی و کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب با مقادیر ۱/۳۹ و ۱/۳۴ میلی-گرم در گرم وزن تر بدست آمد در حاکی که کمترین میزان این صفت در خوشه‌های پنجم و هشتم با مقادیر ۰/۳ و ۰/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر در تیمار آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی و شاهد بدون کود نیتروژن حاصل شد (جدول ۷). نتایج برهم‌کنش خوشه ششم و هفتم نشان داد با افزایش تنش از میزان کلروفیل b کاسته شد ولی با افزایش مقدار کود نیتروژن بر میزان این صفت افزوده شد. بیشترین میزان کلروفیل b در خوشه ششم (۱/۴۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار سال اول و

نیاز آبی ۱۰۰ درصد و مصرف کود ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار بدست آمد در حالی‌که بیشترین میزان این صفت در خوشه هفتم (۱/۳۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در سال دوم و تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی و مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بدست آمد. همچنین، کمترین میزان این صفت برای هر دو خوشه ششم و هفتم (به‌ترتیب ۰/۲۸۰ و ۰/۳۴۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در سال اول و تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی و شاهد بدون استفاده از کود بدست آمد (شکل ۱ و ۲).

کاروتنوئید

تجزیه واریانس صفات نشان داد در خوشه پنجم تا هفتم، اثرات اصلی آبیاری و کود نیتروژن و برهم‌کنش دوگانه سال × آبیاری و دوگانه آبیاری × کود نیتروژن ($p \leq 0.01$)، در خوشه هشتم، اثرات اصلی آبیاری و کود نیتروژن و برهم‌کنش دوگانه سال × آبیاری، سال × کود نیتروژن، دوگانه آبیاری × کود نیتروژن ($p \leq 0.01$) بر میزان کاروتنوئید معنی‌دار بود (جدول ۸).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر آبیاری وکود نیتروژن بر محتوی کلروفیل b برگ گوجه‌فرنگی رقم'نیوتن'در دو سال (۱۴۰۲-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰)

Table 5- ANOVA for the effect of irrigation and nitrogen fertilizer on the chlorophyll b content in tomato cv. Newton leaf in two years (2021-22 and 2022-23)

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares پنجمین کلاستر 5th Cluster	 ششمین کلاستر 6th Cluster	 هفتمین کلاستر 7th Cluster	 هشتمین کلاستر 8th Cluster
سال Year (Y)	1	0.0005ns	0.0002ns	0.002ns	0.010ns
خطا Error (year)	4	0.003	0.002	0.004	0.004
آبیاری Irrigation (I)	2	1.19**	1.77**	1.62**	0.919**
Y × I	2	0.012**	0.005**	0.001**	0.005**
خطا Error I (y)	8	0.001	0.0001	0.001	0.001
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer (N)	3	1.64**	1.70**	0.958**	1.04**
I × N	6	0.025**	0.037**	0.022**	0.029**
Y × N	3	0.009ns	0.012*	0.033**	0.067**
Y × I × N	6	0.003ns	0.010*	0.026**	0.008ns
خطای کل Total error	36	0.004	0.003	0.005	0.006
ضریب تغییرات C.V (%)		7.39	6.049	8.08	7.98

ns, *, **به‌ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, *, **: non-significant, and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول ٦- برهم‌کنش سال × آبیاری بر محتوی کلروفیل b برگ گوجه‌فرنگی رقم'نیوتن'در خوشه‌های مختلف

Table 6- The interaction effect of year × irrigation on the chlorophyll b content of tomato cv. Newton leafin different clusters

سال Year	آبیاری Irrigation (water requirement, %)	5th Cluster	8th Cluster
2021-22	75	0.678e	0.728f
	100	0.963c	0.993d
	125	1.09b	1.11a
2022-23	75	0.660f	0.740e
	100	0.920d	1.05c
	125	1.13a	1.11a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with common letters are not significantly different based on Duncan's multiplr range test at the 5% of probability level.

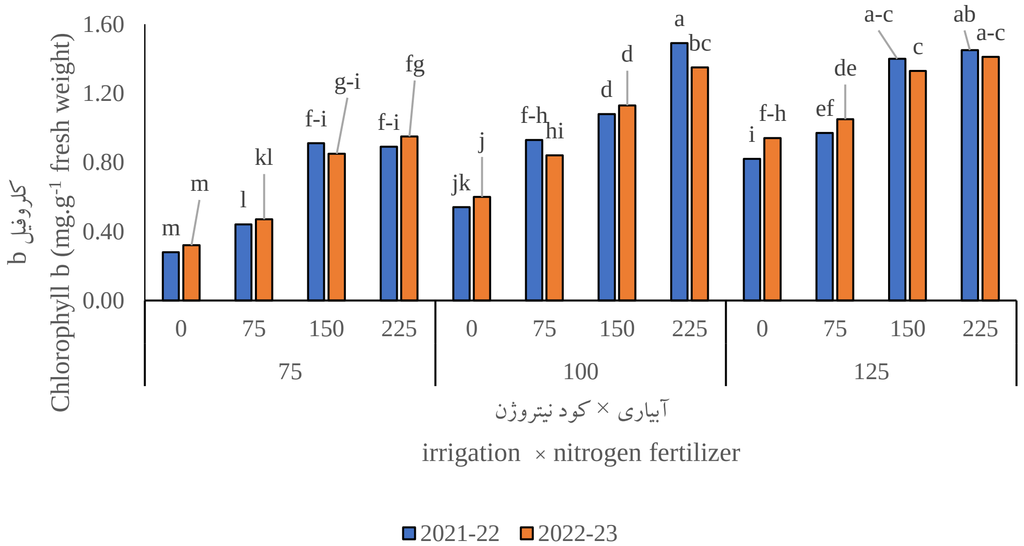
جدول ۷- برهم‌کنش آبیاری × کود نیتروژن بر میزان کلروفیل b برگ گوجه‌فرنگی رقم'نیوتن'در خوشه‌های مختلف

Table 7- The interaction effect of irrigation × nitrogen fertilizer on the chlorophyll b content of tomato cv. Newton leaf in different clusters

آبیاری (٪ نیاز آبی) Irrigation (water requirement, %)	نیتروژن Nitrogen fertilizer ($kg.h^{-1}$)	پنجمین کلاستر 5th Cluster	هشتمین کلاستر 8th Cluster
75	0	0.300[h]	0.430[f]
	75	0.520[g]	0.580[e]
	150	0.780[f]	0.895[c]
	225	1.08[c]	1.03[b]
100	0	0.560[g]	0.740[d]
	75	0.880[e]	0.890[c]
	150	0.965[d]	1.09[b]
	225	1.36[a]	1.37[a]
125	0	0.805[ef]	0.890[c]
	75	1.03[cd]	1.08[b]
	150	1.22[b]	1.13[b]
	225	1.39[a]	1.34[a]

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

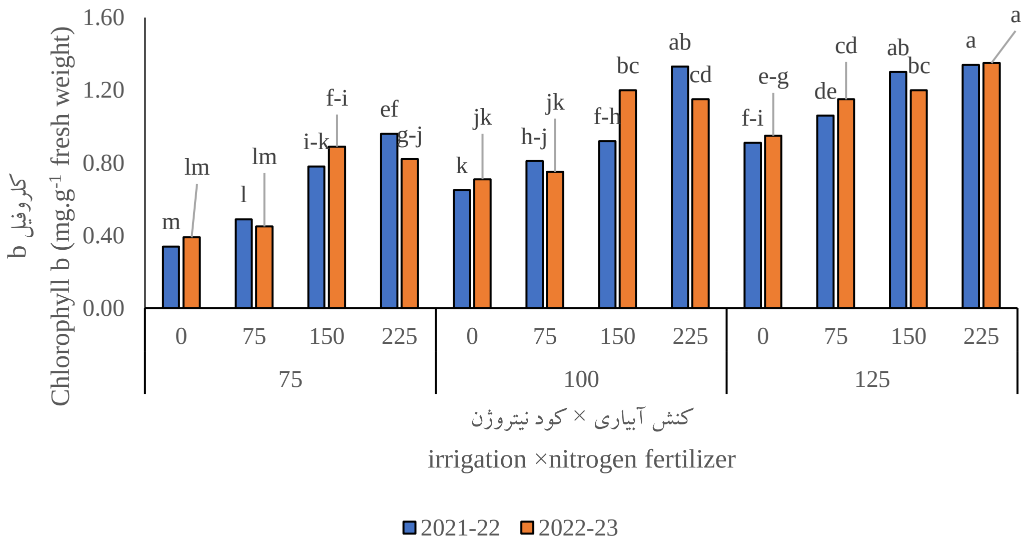
Means with common letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test at the 5% of probability level.



شکل ۱- برهم‌کنش سال × آبیاری × کود نیتروژن بر محتوی کلروفیل b برگ گوجه فرنگی رقم'نیوتن' در خوشه ششم

Figure 1- The triple effect of year × irrigation × nitrogen fertilizer on the chlorophyll b content of tomato cv. Newton fruit in 6th cluster (DMRT, $p \leq 0.05$)

مقایسه میانگین صفات برای برهم‌کنش سال و آبیاری نشان داد در هر دو سال زراعی با کاهش آبیاری، میزان کاروتنوئید کاهش یافت. بیشترین میزان کاروتنوئید در خوشه پنجم تا هشتم (به‌ترتیب ۴/۹۰، ۴/۷۵، ۴/۸۳ و ۴/۷۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در سال اول و آبیاری ۱۲۵ درصد نیاز آبی بدست آمد و کمترین میزان این صفت برای خوشه پنجم، ششم و هشتم (به‌ترتیب ۳/۱۰، ۳/۰۳ و ۲/۹۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در سال دوم و آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی و برای خوشه هفتم (۳/۲۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در سال اول و آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی بدست آمد (جدول ۹). همچنین نتایج برهم‌کنش آبیاری با کود نیتروژن نشان داد هرچند با اعمال تنش بر میزان این صفت کاسته شد ولی با افزایش مقدار نیتروژن، کاروتنوئید افزایش یافت. در هر چهار خوشه، بیشترین میزان کاروتنوئید در آبیاری ۱۲۵ درصد نیاز آبی و کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب با مقادیر ۵/۴۵، ۵/۱۵، ۵/۳۵ و ۵/۴۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر بدست آمد هرچند با تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشت.



شکل ۲- برهم‌کنش سال × آبیاری × کود نیتروژن بر کلروفیل b برگ گوجه فرنگی رقم'نیوتن' در خوشه هفتم

Figure 2- The triple effect of year × irrigation × nitrogen fertilizer on the chlorophyll b content of tomato cv. Newton fruit in 7th cluster (DMRT, *p≤0.05*)

همچنین کمترین میزان این صفت در خوشه‌های مختلف با مقادیر ۲/۳۰، ۲/۲۰، ۲/۶۰ و ۱/۹۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر به‌ترتیب در خوشه پنجم تا هشتم در تیمار آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی و شاهد بدون کود نیتروژن حاصل شد (جدول ۱۰). از سوی دیگر، برهم‌کنش سال و کود نیتروژن بر میزان کاروتنوئید نشان داد در سطوح نیتروژن صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، سال‌های مختلف تفاوت معنی‌داری بر روی صفت کاروتنوئید نداشت ولی در سطح نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار، سال اول نسبت به سال دوم به میزان ۱۰ درصد کاروتنوئید بیشتری داشت (شکل ۳).

خشکی همچنین منجر به زوال غشاهای تیلاکوئید می‌شود که باعث آسیب قابل توجهی به رنگدانه‌های فتوسنتزی می شود که جذب انرژی (کلروفیل) را کنترل می‌کنند و انرژی اضافی (کاروتنوئیدها) را از بین می‌برند (Tamburino *et al*., 2017; Sivakumar *et al*., 2018; Raja *et al*., 2020). با این حال، در اکثر موارد، کاروتنوئیدها نسبت به کلروفیل کمتر به تنش خشکی حساس هستند که این موضوع در چندین محصول نشان داده شده است (Salehi-Lisar *et al*., 2012). در گونه‌های مختلف گیاهی، خشکی باعث تغییر در محتوای کلروفیل a، نسبت کلروفیل a/b و محتوای کاروتنوئید می‌شود (Farooq *et al*., 2009). به گفته وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2016)، رنگدانه‌های فتوسنتزی در طول تنش خشکی کاهش می‌یابد و درنتیجه بر فتوسنتز تأثیر می‌گذارد. همچنین نشان داده شد که ژن‌های مسئول تولید آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز رنگدانه نیز تحت تنش خشکی کاهش می‌یابند که نشان‌دهنده اهمیت حیاتی فرآیندهای بیوسنتز سبز در تنش‌های محیطی است (Dalal & Tripathy, 2012). کاهش میزان کاروتنوئید برگ تحت تنش خشکی در رازیانه توسط موسی‌پور و اصغری‌پور (Mousapour & Asgharipour, 2015) و در گندم دوروم توسط نعیمی و همکاران (Naiemi *et al*., 2018) گزارش شده است. امینی و حداد (Amini & Haddad, 2013) نیز دریافتند که کاروتنوئیدها در ابتدای تنش خشکی افزایش یافته و سپس با افزایش تنش کاهش می‌یابد. تنش خشکی یکی از دلایل کاهش ظرفیت فتوسنتزی، کاهش رشد و عملکرد و عدم تعادل بین تولید و حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که منجر به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو در لیپیدهای غشا و سایر اجزای سلولی می‌شود (Fu & Huang, 2001). گیاهان از مکانیسم‌های آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی برای مقابله با تنش آنتی‌اکسیدانی ناشی از رادیکال‌های فعال اکسیژن استفاده می‌کنند. کاروتنوئیدها ترکیبات آنتی‌اکسیدانی آبگریز و غیر آنزیمی هستند (AL-Aghabary *et al*., 2004). از طرف دیگر، استفاده از کود نیتروژن به‌طور معنی‌داری باعث افزایش کلروفیل‌ها و کاروتنوئید شد که به دلیل آن را می‌توان همبستگی مثبت نیتروژن با کلروفیل دانست (Nawab & Anjum, 2017). افزایش نیتروژن در گیاه توأم با افزایش غلظت کلروفیل و نیتروژن برگ بوده و همچنین افزایش نیتروژن باعث بهبود رنگ گیاه می‌شود،

به‌عبارتی سبزی را در گیاه تشدید می‌کند (Nawab & Anjum, 2017). نتایج تحقیقات تعداد زیادی از پژوهشگران نشان داده است که مقدار کلروفیل برگ با غلظت نیتروژن، فعالیت آنزیم ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز و ظرفیت فتوسنتزی برگ همبستگی بالایی دارد (Luo *et al*., 2021; Wang *et al*., 2021; Li *et al*., 2023).

عملکرد و اجزای عملکرد

تجزیه واریانس صفات نشان داد اثرات اصلی آبیاری و کود نیتروژن و برهم‌کنش دوگانه آبیاری × کود نیتروژن و سه‌گانه سال × آبیاری × کود نیتروژن ($p \leq 0.01$) بر تعداد میوه در متر مربع معنی‌دار بود (جدول ۱۱). مقایسه میانگین صفت تعداد میوه در متر مربع نشان داد در هر دو سال، کودهای نیتروژن و آبیاری رفتار متفاوتی داشتند ولی بیشترین میزان این صفت در تیمار آبیاری ۱۲۵ درصد نیاز آبی و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در سال دوم آزمایش (۲۶۰ عدد) بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با سال اول نداشت. از سوی دیگر، این تیمار نسبت به بیشترین تعداد میوه در آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی، به میزان ۱۱ درصد میوه بیشتری تولید کرد. همچنین، کمترین میزان این صفت با ۶۲ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری به میزان ۱۲۵ درصد نیاز آبی و مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن، در تیمار آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی و شاهد بدون کود در سال دوم (۱۰۰ عدد) حاصل که تفاوت معنی‌داری با سال اول نداشت (شکل ۴).

جدول ۸- تجزیه واریانس اثر آبیاری و کود نیتروژن بر محتوی کاروتنوئید برگ گوجه‌فرنگی رقم 'نیوتن' در دو سال (۱۴۰۰-۰۱ و ۱۴۰۱-۰۲)

Table 8- ANOVA for the effect of irrigation and nitrogen fertilizer on the carotenoid content of tomato cv. Newton leaf in two years (2021-22 and 2022-23)

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares پنجمین کلاستر 5th Cluster	ششمین کلاستر 6th Cluster	هفتمین کلاستر 7th Cluster	هشتمین کلاستر 8th Cluster
سال Year (Y)	1	0.245ns	0.211ns	0.031ns	0.080ns
خطا Error (year)	4	0.260	0.275	0.275	0.353
آبیاری Irrigation (I)	2	18.2**	16.9**	14.0**	22.2**
Y × I	2	0.009**	0.204**	0.159**	0.009**
خطا Error I (y)	8	0.001	0.001	0.001	0.001
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer (N)	3	9.83**	12.4**	9.53**	13.5**
I × N	6	0.702**	0.719**	0.832**	0.750**
Y × N	3	0.108ns	0.145ns	0.355ns	0.290*
Y × I × N	6	0.112ns	0.192ns	0.067ns	0.099ns
خطای کل Total error	36	0.164	0.163	0.163	0.092
ضریب تغییرات C.V (%)		9.75	9.89	9.71	7.44

ns, *, **به‌ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, *, **: non-significant, and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۹- برهم‌کنش سال × آبیاری بر محتوی کاروتنوئید برگ گوجه‌فرنگی رقم 'نیوتن' در خوشه‌های مختلف

Table 9- The interaction effect of year × irrigation on the carotenoid content of tomato cv. Newton leaf in different clusters

سال Year	آبیاری (٪ نیاز آبی) Irrigation (water requirement, %)	پنجمین کلاستر 5th Cluster	ششمین کلاستر 6th Cluster	هفتمین کلاستر 7th Cluster	هشتمین کلاستر 8th Cluster
2021-22	75	3.25e	3.20e	3.23f	2.98e
	100	4.50c	4.45d	4.48c	4.55c
	125	4.90a	4.75a	4.83a	4.78a
2022-23	75	3.10f	3.03f	3.35e	2.95f
	100	4.43d	4.55b	4.43d	4.48d
	125	4.78b	4.50c	4.63b	4.68b

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with common letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test at the 5% of probability level.

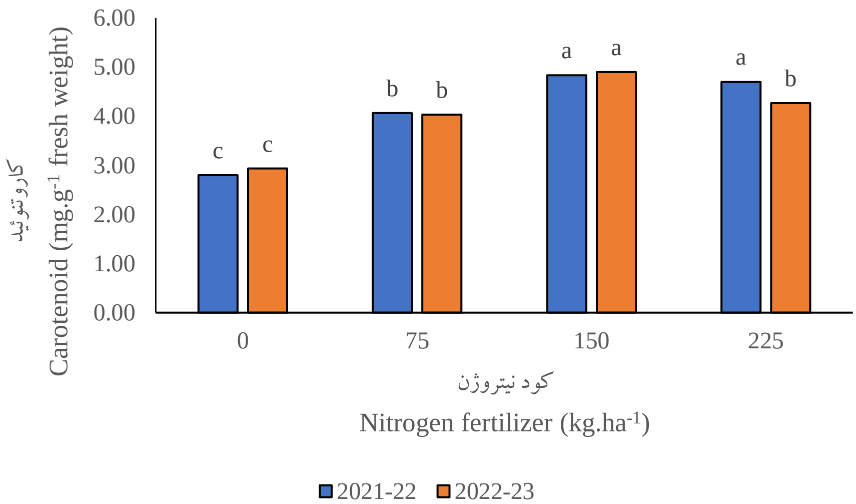
جدول ۱۰- برهم‌کنش آبیاری × کود نیتروژن بر میزان کاروتنوئید برگ گوجه‌فرنگی رقم'نیوتن' در خوشه‌های مختلف

Table 10- The interaction effect of irrigation × nitrogen fertilizer on the carotenoid content of tomato cv. Newton leaf in different clusters

آبیاری (٪ نیاز آبی) Irrigation (water requirement, %)	نیتروژن Nitrogen fertilizer ($kg.h^{-1}$)	پنجمین کلاستر 5th Cluster	ششمین کلاستر 6th Cluster	هفتمین کلاستر 7th Cluster	هشتمین کلاستر 8th Cluster
75	0	2.30^{g}	2.20^{e}	2.60^{e}	1.90^{f}
	75	3.30^{f}	3.50^{c}	3.20^{d}	2.90^{e}
	150	4.20^{de}	3.80^{c}	4.25^{c}	4.20^{c}
	225	2.90^{f}	2.95^{d}	3.10^{d}	2.85^{e}
100	0	3.30^{f}	3.00^{d}	3.45^{d}	3.20^{de}
	75	4.50^{cd}	4.50^{b}	4.75^{b}	4.50^{bc}
	150	5.05^{ab}	5.30^{a}	4.90^{ab}	5.15^{a}
	225	5.00^{ab}	5.20^{a}	4.70^{b}	5.20^{a}
125	0	3.80^{e}	3.40^{cd}	3.30^{d}	3.50^{d}
	75	4.75^{bc}	4.85^{ab}	4.95^{ab}	4.75^{b}
	150	5.35^{a}	5.10^{a}	5.30^{a}	5.25^{a}
	225	5.45^{a}	5.15^{a}	5.35^{a}	5.40^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with common letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test at the 5% of probability level.



شکل ۳- برهم‌کنش سال × کود نیتروژن بر محتوی کاروتنوئید برگ گوجه‌فرنگی رقم'نیوتن' در خوشه هشتم

Figure 3- The interaction effect of year × nitrogen fertilizer on the carotenoids content of tomato cv. Newton fruit in 8th cluster (DMRT, *p≤0.05*)

با توجه به تجزیه واریانس صفات، اثرات اصلی آبیاری و کود نیتروژن و برهم‌کنش دوگانه آبیاری × کود نیتروژن ($p \leq 0.01$) و دوگانه سال × نیتروژن ($p \leq 0.05$) و برهم‌کنش سه‌گانه سال × آبیاری × کود نیتروژن ($p \leq 0.01$) بر وزن تک میوه معنی‌دار بود (جدول ۱۱). مقایسه میانگین صفات نشان داد در هر دو سال، کودهای نیتروژن و آبیاری رفتار متفاوتی نسبت به وزن تک میوه داشتند ولی بیشترین میزان این صفت در تیمار آبیاری ۱۲۵ درصد نیاز آبی و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در سال اول آزمایش (۲۵۴ گرم) بدست آمد که با سال دوم تفاوت معنی‌داری نداشت. از سوی دیگر، این تیمار نسبت به تیمار کودی ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی برای سال اول تفاوت معنی‌داری نداشت ولی برای سال دوم به میزان ۱۱ درصد بیشتر بود. همچنین، کمترین میزان این صفت در آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی و شاهد بدون کود در سال اول (۹۸ گرم) حاصل شد که با تیمار سال دوم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۵).

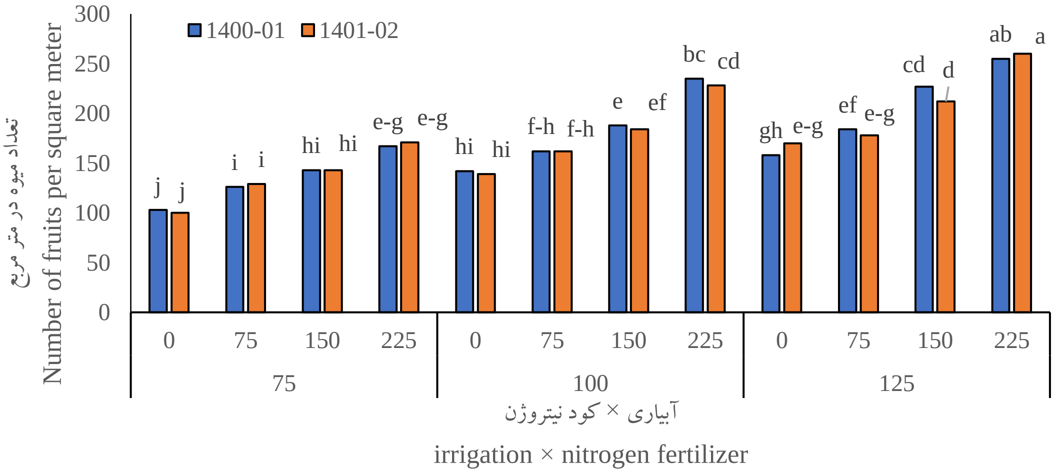
جدول ۱۱- تجزیه واریانس صفات مختلف گوجه‌فرنگی رقم 'نیوتن' تحت تأثیر تیمارهای مختلف

Table 11- Analysis of variance of different tomato traits under the influence of different treatments

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (Mean of squares) تعداد میوه در متر مربع Number of fruits per square meter	وزن تک میوه Weight of single fruit	عملکرد میوه Fruit yield	کارایی مصرف آب Water Use Efficiency
سال Year (Y)	1	24.5 ns	18.0 ns	1.15 ns	48.3 ns
خطا Error (year)	4	41.4	111	12.8	309
آبیاری Irrigation (I)	2	30352**	32573**	3652**	29668**
Y × I	2	30.5 ns	91.1 ns	0.693 ns	14.0 ns
خطا Error I (y)	8	68.6	82.1	8.22	179
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer (N)	3	4957**	28317**	3392**	67955**
I × N	6	8698**	1429**	252**	1620**
Y × N	3	121 ns	195*	14.3 ns	173 ns
Y × I × N	6	1077**	228**	11.5 ns	280 ns
خطای کل Total error	36	156	63.4	9.40	238
ضریب تغییرات C.V (%)		7.20	4.74	9.84	10.8

ns, *, **به‌ترتیب عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

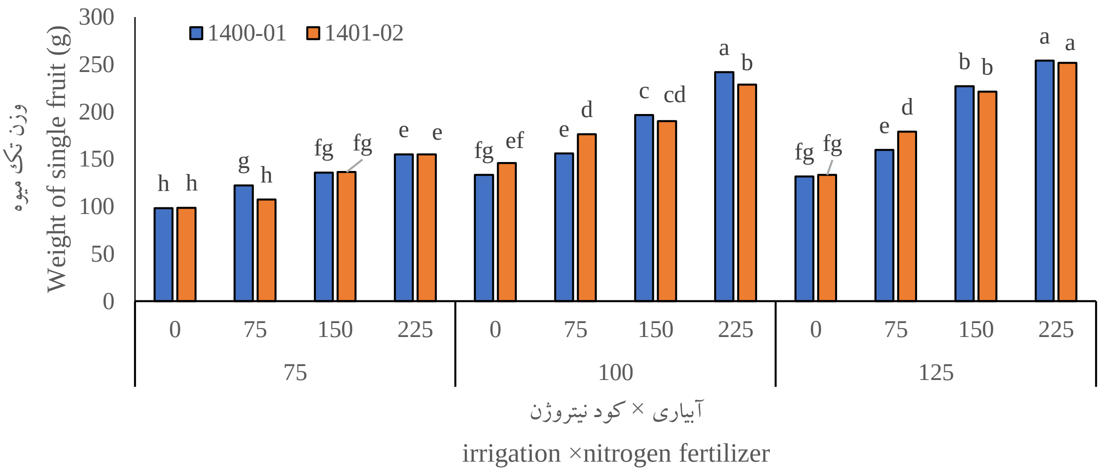
ns, *, **: non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ٤- برهم‌کنش سال × آبیاری × کود نیتروژن بر تعداد میوه در متر مربع گوجه فرنگی رقم 'نیوتن'

Figure 4- The triple effect of year × irrigation × nitrogen fertilizer on the number of fruits per square meter in tomato cv. Newton (DMRT, $p \leq 0.05$)

تجزیه واریانس صفات نشان داد اثرات اصلی آبیاری و کود نیتروژن و برهم‌کنش دوگانه آبیاری × کود نیتروژن ($p \leq 0.01$) بر عملکرد گوجه‌فرنگی معنی‌دار بود (جدول ۱۱). مقایسه میانگین صفات نشان داد در تمام تیمارهای کودی، با افزایش میزان آبیاری از ۷۵ درصد نیاز آبی به ۱۲۵ درصد نیاز آبی، میزان عملکرد افزایش یافت. بیشترین میزان عملکرد در آبیاری ۱۲۵ درصد نیاز آبی و کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار (۶۵/۱ کیلوگرم در متر مربع) بدست آمد. هرچند، در تیمار شاهد بدون کود آبیاری ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری در عملکرد نداشتند ولی کمترین میزان این صفت در تیمار شاهد بدون کود و آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی (۱۰ کیلوگرم در متر مربع) بدست آمد که تفاوت بیشترین و کمترین میزان این صفت برای تیمارهای مختلف بیش از ۵/۵ برابر است (شکل ۶).

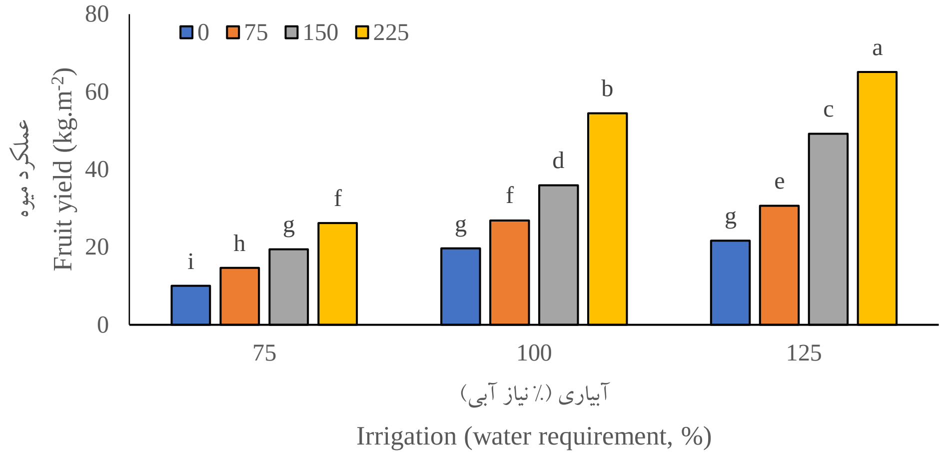


شکل ۵- برهم‌کنش سال × آبیاری × کود نیتروژن بر وزن تک میوه گوجه فرنگی رقم نیوتن

Figure 5- The triple effect of year × irrigation × nitrogen fertilizer on the weight of single fruit of tomato cv. Newton (DMRT, *p≤0.05*)

در نتیجه تأثیر بر وزن خشک گیاه، خشکی بر بهره‌وری محصول تأثیر می‌گذارد و ۵۰ تا ۷۰ درصد عملکرد محصول را در سراسر جهان کاهش می‌دهد (Sivakumar & Srividhya, 2016). مراحل گلدهی و رشد میوه حساس‌ترین به کمبود آب در گوجه فرنگی است (Khapte *et al*., 2019). کم آبیاری بر تعداد گل تأثیر می‌گذارد، که در نتیجه منجر به تولید میوه‌های کمتر و یا میوه‌هایی با اندازه کاهش یافته و در نهایت عملکرد کمتر قابل فروش می‌شود (Machado *et al*., 2021). چن و همکاران (Chen *et al*, 2013) نشان داد که کاهش عرضه آبیاری (یک سوم یا دو سوم آبیاری کامل) در مرحله گیاهچه تأثیر منفی و معنی‌داری بر عملکرد و کیفیت گوجه فرنگی ندارد که نشان می‌دهد می‌توان به صرفه‌جویی در مصرف آب در سطح گیاهچه در مرحله نشاء دست یافت. به‌طور مشابه، سیواکومار و سریویدیا (Sivakumar & Srividhya, 2016) مشاهده کردند که تنش خشکی متوسط می‌تواند به‌عنوان یک عامل مثبت دیده شود زیرا شروع گلدهی را تسریع می‌کند. با این وجود، هائو و همکاران (Hao *et al*., 2019) به این نتیجه رسیدند که در مقایسه با مراحل نشاء و گلدهی، اعمال تنش خشکی ملایم در حین رشد میوه به‌عنوان بهترین دوره برای ارائه کیفیت و عملکرد رضایت بخش میوه با حفظ منابع آب در نظر گرفته شد. در طرف مقابل، رسیدن میوه مرحله بسیار حساسی بود و هرگونه توزیع ناهمگن آبیاری، حتی اگر موقتی باشد، ممکن است باعث اختلالات فیزیولوژیکی مانند ترک خوردن میوه (Machado *et al*., 2021) و پوسیدگی انتهای شکوفه (BER) شود. مورد دوم یک اختلال فیزیولوژیکی مکرر است که به‌دلیل ظرفیت محدود گیاهان گوجه فرنگی برای انتقال درونی کلسیم به سمت میوه‌ها در شرایط خشکی ایجاد می شود (-Millones Chaname *et al*., 2019). همچنین، وزن میوه تازه یک ویژگی کیفی مهم گوجه‌فرنگی است که وابسته به رقم است و همچنین به شدت تحت تأثیر خشکی قرار می‌گیرد (Wang *et al*., 2011). مادرید و همکاران (Madrid *et al*., 2009) نشان داد که نیاز میوه گوجه‌فرنگی برای جذب فتوسنتز و آب در مرحله بلوغ میوه به شدت افزایش می یابد که مصرف کل آب را به شدت افزایش می‌دهد. اگر آبیاری کاهش یابد، سرعت جذب آب کمتر از تعرق محصول خواهد بود، که باعث کمبود آب داخلی می‌شود که بر فتوسنتز تأثیر می‌گذارد و در نتیجه کاهش سطح برگ، اندازه سلول و حجم بین سلولی را به همراه دارد. بنابراین، تجمع آب میوه و در نتیجه وزن میوه کاهش می‌یابد (Madrid *et al*., 2009). همچنین، عملکرد محصول و کیفیت میوه ارتباط نزدیکی با در دسترس بودن نیتروژن دارد. چندین مطالعه گزارش کرده‌اند که عملکرد میوه توسط طیف وسیعی از نرخ‌های کود نیتروژن، از حدود ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تا ۶۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مورد مطالعه قرار گرفته است (Fatima *et al*., 2012). این تفاوت‌ها به مرحله رشد، رقم، منبع نیتروژن و شرایط محیطی بستگی دارد (Elia & Conversa, 2012). استفاده بیش از حد نیتروژن همچنین می‌تواند منجر به انتقال مجدد نیتروژن از اندام‌های تولید مثل به برگ‌ها شود و به نفع رشد رویشی به ضرر رشد میوه باشد و در نتیجه عملکرد کمتری داشته باشد (Hernandez *et al*., 2020). الیا و کانورسا (Elia & Conversa, 2012) نشان دادند که افزایش کود نیتروژن از صفر به ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش عملکرد میوه ۲۸/۱ درصد شد در حالی‌که از صفر تا ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار فقط ۲۳/۳ درصد افزایش یافت. به‌طور مشابه، دو و همکاران (Du *et al*.,

2017) به این نتیجه رسیدند که ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، عملکرد را ۴/۸ درصد در مقایسه با کود ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افزایش داد، که تقویت کرد که کوددهی بیش از حد نیتروژن می‌تواند اثرات مضری بر عملکرد گوجه فرنگی داشته باشد.



شکل ٦- برهم‌کنش آبیاری × کود نیتروژن بر عملکرد میوه گوجه فرنگی رقم'نیوتن'

Figure 6- The interaction effect of irrigation × nitrogen fertilizer on the yield of tomato cv. Newton (DMRT, *p≤0.05*)

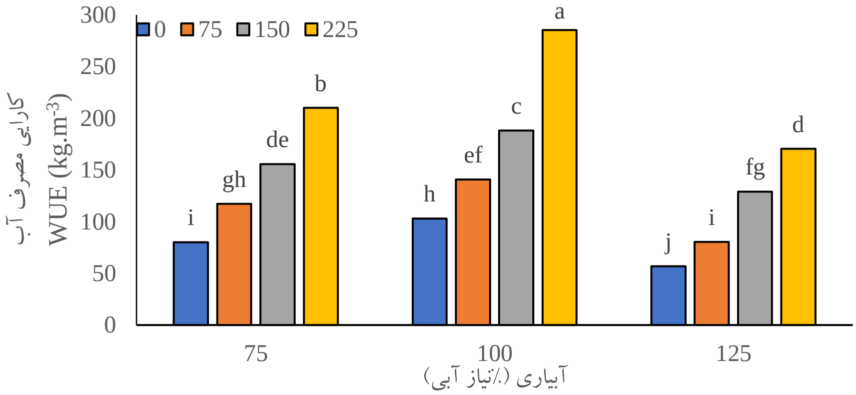
کارایی مصرف آب

با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، اثرات اصلی آبیاری و کود نیتروژن و برهم‌کنش دوگانه آبیاری × کود نیتروژن ($p \leq 0.01$) بر کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی معنی‌دار بود (جدول ۱۱). مقایسه میانگین صفات نشان داد در تمام تیمارهای کودی، بیشترین میزان این صفت در آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمدو بعد از آن آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی در رتبه دوم قرار گرفت. همچنین در تمام تیمارهای کودی، کمترین میزان کارایی مصرف آب در تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی مشاهده گردید. بیشترین میزان کارایی مصرف آب در آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار (۲۸۵ کیلوگرم در متر مکعب) بدست آمد. کمترین میزان این صفت در تیمار شاهد بدون کود و آبیاری ۱۲۵ درصد نیاز آبی (۵۷ کیلوگرم در متر مکعب) بدست آمد (شکل ۷).

شاهین و همکاران (Shahien *et al*., 2012) در آزمایشی افزایش کارایی مصرف آب را با افزایش حجم آبیاری در گوجه فرنگی تا حد ظرفیت زراعی به‌دلیل افزایش بیشتر صورت کسر (یعنی عملکرد میوه) در قیاس با مخرج کسر (یعنی آب مصرفی) گزارش کردند. در این آزمایش نیز تیمارهایی که سبب افزایش عملکرد میوه شدند در نهایت منجر به حصول بیشترین کارایی مصرف آب در گیاه گوجه‌فرنگی گردیدند، اما افزایش بیشتر ظرفیت زراعی با توجه به افزایش عدد مخرج کسر، باعث کاهش کارایی مصرف آب شد. هوشمند و همکاران (Hooshmand *et al*., 2019) اثر دو سطح آبیاری ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه را بر کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب گیاه گوجه‌فرنگی در تیمار ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد. همچنین، گزارش شده است استفاده از کودهای مختلف ضمن بهبود شاخص‌های رشد رویشی و عملکرد گیاه، منجر به بهبود روابط آبی در گیاه نیز شده است (Ghorbani *et al*., 2023). برخی از عناصر غذایی مانند نیتروژن و پتاسیم با تأثیر بر روابط آبی گیاه و بر کارایی مصرف آب مؤثرند. در همین زمینه کومادا و گابریل (Quemada & Gabriel, 2016) عنوان کردند با افزایش میزان نیتروژن مصرفی، کارایی مصرف آب افزایش یافت.

محتوای نیترات میوه

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد در خوشه ششم و هشتم، اثر اصلی آبیاری و برهم‌کنش سال × آبیاری و برهم‌کنش سه‌گانه سال × آبیاری × کود نیتروژن (*$p \leq 0.01$*) و در خوشه هفتم اثر اصلی آبیاری ($p \leq 0.01$) و برهم‌کنش دوگانه سال × آبیاری و برهم‌کنش آبیاری × کود نیتروژن ($p \leq 0.05$)، دوگانه سال × کود نیتروژن ($p \leq 0.01$) و برهم‌کنش سه‌گانه سال × آبیاری × کود نیتروژن ($p \leq 0.05$) بر تجمع نیترات گوجه‌فرنگی معنی‌دار بود (جدول ۱۲). در خوشه ششم (۶/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) و هفتم (۶/۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشترین میزان این صفت در تیمار آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی و کود مصرفی ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار در سال اول بود.



شکل ۷- برهم‌کنش آبیاری × کود نیتروژن بر کارایی مصرف آب گوجه فرنگی رقم'نیوتن'

Figure 7- The interaction effect of irrigation × nitrogen fertilizer on the WUE of tomato cv. Newton (DMRT, *p≤0.05*)

با افزایش مقدار آبیاری و همچنین کاهش مصرف کود نیتروژن این میزان کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین میزان تجمع نیترات برای خوشه ششم در سال اول (۴/۷۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) و خوشه هفتم در سال دوم (۴/۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) و برهم‌کنش آبیاری ۱۲۵ درصد نیاز آبی و شاهد بدون نیتروژن بدست آمد که به‌ترتیب حدود ۲۲ و ۲۳ درصد کمتر از حداکثر میزان این صفت در خوشه ششم و هفتم بود (شکل ۸ و ۹). در خوشه هشتم، برعکس خوشه ششم و هفتم، بیشترین میزان تجمع نیترات در آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار (۶/۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) در سال اول بدست آمد و کمترین میزان تجمع نیترات که در تیمار آبیاری ۱۲۵ درصد نیاز آبی و شاهد بدون کود در سال دوم (۴/۹۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) بدست آمد (شکل ۱۰).

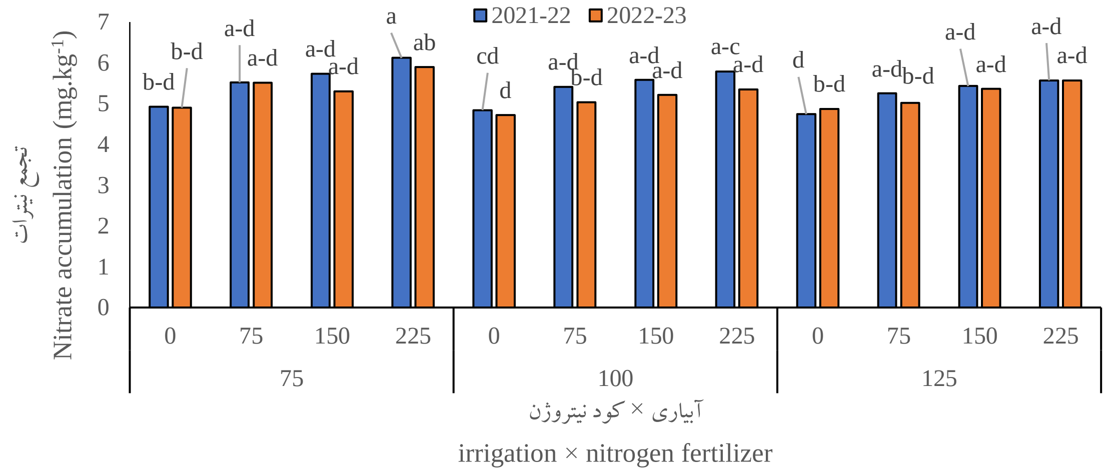
جدول ۱۲- تجزیه واریانس اثر آبیاری و کود نیتروژن بر محتوای نیترات در میوه گوجه‌فرنگی رقم'نیوتن'در دو سال (۰۲-۱۴۰۱ و ۰۱-۱۴۰۰)

Table 12- ANOVA for the effect of irrigation and nitrogen fertilizer on the nitrate accumulation in the tomato cv. Newton fruit

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares 6th Cluster	7th Cluster	8th Cluster
سال Year (Y)	1	0.583ns	1.14ns	1.34ns
خطا Error (year)	4	0.686	1.22	0.548
آبیاری Irrigation (I)	2	0.516**	0.499**	0.531**
Y × I	2	0.122**	0.154**	0.169**
خطا Error I (y)	8	0.001	0.001	0.001
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer (N)	3	0.133ns	0.250ns	0.313ns
I × N	6	0.467ns	0.476*	0.289ns
Y × N	3	0.089ns	0.898**	0.089ns
Y × I × N	6	0.769**	0.496*	1.07**
خطای کل Total error	36	0.272	0.185	0.388
ضریب تغییرات C.V (%)		9.80	7.87	11.10

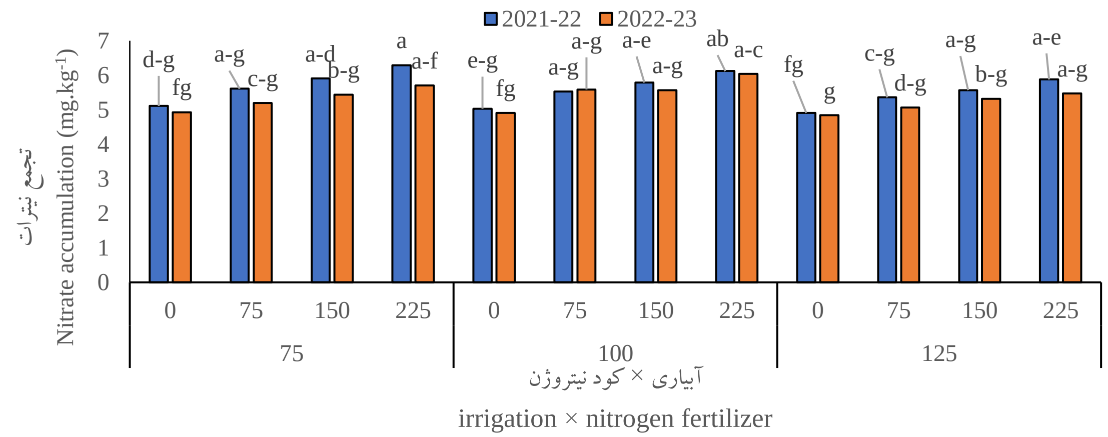
ns, *, **به‌ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, *, **: non-significant, and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.



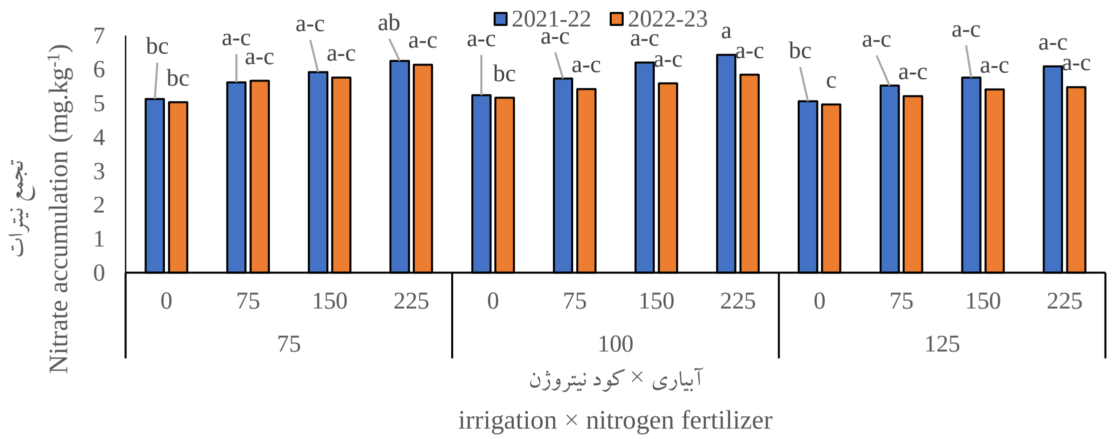
شکل ۸- برهم‌کنش سال × آبیاری × کود نیتروژن بر تجمع نیترات میوه گوجه فرنگی رقم'نیوتن'در خوشه ششم

Figure 8- The triple effect of year × irrigation × nitrogen fertilizer on the nitrate accumulation of tomato fruit cv. Newton in 6th Cluster (DMRT, *p≤0.05*)



شکل ۹- برهم‌کنش سال × آبیاری × کود نیتروژن بر تجمع نیترات میوه گوجه فرنگی رقم'نیوتن'در خوشه هفتم

Figure 9- The triple effect of year × irrigation × nitrogen fertilizer on the nitrate accumulation of tomato cv. Newton fruit in 7th cluster (DMRT, *p≤0.05*)



شکل ۱۰- برهم‌کنش سال × آبیاری × کود نیتروژن بر تجمع نیترات در میوه گوجه فرنگی رقم'نیوتن'در خوشه هشتم

Figure 10- the triple effect of year × irrigation × nitrogen fertilizer on the nitrate accumulation of tomato cv. Newton **fruit in 8th cluster (DMRT, *p≤0.05*)**

شیا و همکاران (Xia *et al*., 2020) بیان داشتند بیش‌ترین غلظت نیترات غده‌های سیب‌زمینی از تیمارهایی که فقط ۵۰ درصد نیاز آبی آن‌ها تأمین شد و تیماری که ۲۵ درصد بیش‌تر از نیاز واقعی آبیاری شد، به‌دست می‌آمد. این محققان بیان داشتند در اثر هر عامل یا محدودیتی که متابولیسم گیاه تحت اثر منفی قرار گیرد، نیتروژن موجود در گیاه نمی‌تواند به اشکال دیگر تبدیل شود بنابراین به‌صورت نیتروژن مضر (نیترات) در میوه تجمع می‌یابد (Xia *et al*., 2020). همچنین بررسی محتوای نیترات میوه گوجه‌فرنگی نشان داد که این صفت بسیار متأثر از تیمارهای کود نیتروژنی است به‌طوری‌که با افزایش مصرف نیتروژن در خاک میزان نیترات به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. جلینی و همکاران (Joleini *et al*., 2021) گزارش کردند با افزایش میزان کود اوره مصرفی در مزارع سیب‌زمینی، میزان نیترات تجمع یافته در غده‌ها به شدت افزایش می‌یابد به‌طوری‌که در مزارعی که میانگین مصرف اوره در آنها ۳۵۰ و ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده، میزان نیترات غده‌ها به ترتیب ۸ و ۱۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک، محاسبه شده است. همچنین، محققان بیان داشتند بین غلظت نیترات در محیط و مقدار تجمع نیترات گیاهی رابطه مستقیمی وجود دارد و مهم‌ترین عامل محیطی مؤثر بر تجمع نیترات مقدار یون نیترات قابل دسترس می‌باشد (Shariatpanahi *et al*., 2021).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج نشان داد هر چند مصرف زیاد کود نیتروژن باعث افزایش تجمع نیترات در تیمارهای مختلف آبی شد ولی در تیمارهای آبیاری به میزان ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی علاوه بر افزایش خصوصیات عملکردی، میزان تجمع نیترات در گوجه‌فرنگی کاهش یافت. همچنین، تفاوت عملکرد میوه در آبیاری ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی محسوس نبود ولی با مصرف کمتر آب، مقدار تولید بهینه و کارایی مصرف آب بهبود یافت. با توجه به نتایج این آزمایش، بهترین تیمار مورد توصیه در شرایط گلخانه‌ای، آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه می‌باشد.

References

1. AL-Aghabary, K., Zhujun, Z., & Qinhua, S. (2004). Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, *27*, 2101–2115. https://doi.org/10.1081/PLN-200034641
2. Amini, Z., & Haddad, R. (2013). The role of photosynthetic pigments and antioxidant enzymes against oxidative stress. *Journal of Cell and Molecular Research*, *26*(3), 251–265. (In Persian with English abstract).
3. Amiri, M.J., Abedi-Koupai, J., & Eslamian, S.S. (2011). Evaluation of the performance of evaporation pans in greenhouse environment. *Journal of Soil and Plant Interactions*, *2*(1), 63-73. (In Persian with English abstract).
4. Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.
5. Ayala-Zavala, J.F., Wang, S.H.Y., & Gonzalez-Aguilar, G.A. (2007). High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit. *Food Technology and Biotechnology*, *452*, 166-173.
6. Bian, Z., Wang, Y., Zhang, X., Li, T., Grundy, S., Yang, Q., & Cheng R. (2020). A review of environment effects on nitrate accumulation in leafy vegetables grown in controlled environments. *Foods*, *9*(6), 732. https://doi.org/10.3390/foods9060732
7. Chen, J., Kang, S., Du, T., Qiu, R., Guo, P., & Chen, R. (2013). Quantitative response of greenhouse tomato yield and quality to water deficit at different growth stages. *Agricultural Water Management*, *129*, 152162. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.011
8. Cui, J., Shao, G., Lu, J., Keabetswe, L., & Hoogenboom, G. (2020). Yield, quality and drought sensitivity of tomato to water deficit during different growth stages. *Scientia Agricola*, *77*(2), e20180390. https://doi.org/10.1590/1678-992x-2018-0390
9. Dalal, V., & Tripathy, B.C. (2012). Modulation of chlorophyll iosynthesis by water stress inrice seedlings during hloroplast biogenesis. *Plant, Cell & Environment*, *35*, 1685–1703. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02520.x
10. Du, Y., Cao, H., Liu, S., Gu, X., & Cao, Y. (2017). Response of yield, quality, water and nitrogen use efficiency of tomato to different levels of water and nitrogen under drip irrigation in Northwestern China. *Journal of Integrative Agriculture*, *16*(5), 11531161. https://doi.org/10.1016/s2095-3119(16)61371-0
11. Duan, Y., Yang, H., Wei, Z., Yang, H., Fan, S., Wu, W., Lyu, L., & Li, W. (2023). Effects of different nitrogen forms on blackberry fruit quality. *Foods*, *12*, 2318. https://doi.org/10.3390/foods12122318
12. Elia, A., & Conversa, G. (2012). Agronomic and physiological responses of a tomato crop to nitrogen input. *European Journal of Agronomy*, *40*, 6474. https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.02.001

13. FAO, (2015). Climate change and food systems: Global assessments and implications for food security and trade. Available from: http://www.fao.org/3/a-i4332e.pdf (accessed 20.09.2020.).
14. FAO, (2020). Statistical database: Production statistics. Available online: Available from: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize (accessed 20.09.2020.).
15. Farooq, M.A., Wahid, N., Kobayashi, D., & Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress effects, mechanisms and management. *Sustainable Agriculture*, 153-188. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_12
16. Farzamnia, M., Miranzadeh, M., & Jahadakbar, M.R. (2015). Irrigation scheduling for greenhouse tomato production using class A pan evaporation. *Journal of Soil and Plant Interactions Isfahan University of Technology*, *6*(1): 15-29. (In Persian)
17. Fatima, T., Teasdale, J.R., Bunce, J., & Mattoo, A.K. (2012). Tomato response to legume cover ́ crop and nitrogen: differing enhancement patterns of fruit yield, photosynthesis and gene expression. *Functional Plant Biology*, *39*(3), 246. https://doi.org/10.1071/fp11240
18. Fu, J., & Huang, B. (2001). Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, *45*, 105–114. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(00)00084-8
19. Gatta, G., Libutti, A., Gagliardi, A., Beneduce, L., Brusetti, L., Borruso, L., Disciglio, G., & Tarantino E. (2015). Treated agro-industrial wastewater irrigation of tomato crop: Effects on qualitative/quantitative characteristics of production and microbiological properties of the soil. *Agricultural Water Management*, *149*, 33-43. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.016
20. Ghorbani, M., Kiani, Sh., Moharrery, A., & Fallah, S. (2023). The effect of ionic composition of the nutrient solutions on growth, macronutrients concentration and yield of two fodder maize (*Zea mays* L.) cultivars in soilless culture. *Journal of Soil and Plant Interactions*, *14*(1), 31-51. (In Persian)
21. Ghosh, U.K., Islam, M.N., Siddiqui, M.N., & Khan, M.A.R. (2021). Understanding the roles of osmolytes for acclimatizing plants to changing environment: a review of potential mechanism. *Plant Signaling & Behavior*, *16*(8), 1913306. https://doi.org/10.1080/15592324.2021.1913306
22. Hajiboland, R., Radpur, E., & Pasbani, B. (2015). Influence of phosphorus deficiency on drought stress tolerance in two tomato (*Solanum lycopersum* L.) cultivars. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *27*(5), 788-803. (In Persian)
23. Hao, S.X., Cao, H.X., Wang, H.B., & Pan, X.Y. (2019). Effects of water stress at different growth stages on comprehensive fruit quality and yield in different bunches of tomatoes in greenhouses. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *12*(3), 6776. https://doi.org/10.25165/j. ijabe.20191203.4468
24. Hernandez-Espinoza, L.H., & Barrios-Masias, F.H. (2020). Physiological and anatomical changes in tomato roots in response to low water stress. *Scientia Horticulturae*, *265*, 109208. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109208
25. Heuvelink, E., Okello, R.C.O., Peet, M., Giovannoni, J.J., & Dorais, M. (2020). Tomato. In: Wien, H. C., Stützel, H. (Eds.), The Physiology of Vegetable Crops. CABI, United Kingdom, p. 512.
26. Hooshmand, M., Boroumand, S., Albaji, M., & Alamzadeh Ansari, N. (2019). Effect of different management methods of low-irrigation on yield, yield components and water use efficiency of tomato in hydroponic culture. *Iranian Journal of Water Researches*, *13*(3), 78–91. (In Persian)
27. Iranian Ministry of Agriculture, (2023). Statistics of agricultural products in 2017–2018. http://www.maj.ir Accessed 2 April 2023.
28. Joleini, M., Karimi, M., Zolfagharan, A., & Fazeli Kakhki, S.F. (2021). Investigation on soil nitrate pollution and nitrate accumulation in potato and tomato of farmers' fields in Mashhad Plain. *Iranian Journal of Soil Research*, *35*(2), 155-172. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijsr.2021.351417.543
29. Khapte, P.S., Kumar, P., Burman, U., & Kumar, P. (2019). Deficit irrigation in tomato: agronomical and physio-biochemical implications. *Scientia Horticulturae*, *248*, 256264. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.006
30. Li, Y., Wang, Q., Fu, T., Qiao, Y., Hao, L., & Qi, T. (2023) Leaf photosynthetic pigment as a predictor of leaf maximum carboxylation rate in a farmland ecosystem. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1225295. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1225295
31. Liang, L., Ridoutt, B.G., Lal, R., Wang, D., Wu, W., & Peng, P. (2019). Nitrogen footprint and nitrogen use efficiency of greenhouse tomato production in North China. *Journal of Cleaner Production*, *208*, 285296. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.149
32. Luo, X., Keenan, T.F., & Chen, J.M. (2021). Global variation in the fraction of leaf nitrogen allocated to photosynthesis. *Nature Communications*, *12*, 4866 (2021). https://doi.org/10.1038/s41467-021-25163-9
33. Machado, J., Fernandes, A.P.G., Fernandes, T.R., Heuvelink, E., Vasconcelos, M.W., & Carvalho, S.M.P. (2021). Drought and nitrogen stress effects and tolerance mechanisms in tomato: A review. *Plant Nutrition and Food Security in the Era of Climate Change*, 315-359.

34. Madrid, R., Barba, E.M., Sanchez, A., & Garcıa, A.L. (2009). Effects of organic fertilis- ers and irrigation level on physical and chemical quality of industrial tomato fruit (cv. Nautilus). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *89*, 26082615. https://doi.org/10.1002/jsfa.3763
35. Mahmoodnia, M., Farsi, M., Marashi, S.H., & Ebadi, P. (2013). Physiological responses to drought stress in four species of tomato. *Journal of Horticultural Science*, *26*(4), 409-4016. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V0I0.18252
36. Millones-Chaname´, C.E., Souza de Oliveiras, A.M., Castro, E.M., & Maluf, W.R. (2019). Inheritance of blossom end rot resistance induced by drought stress and of associated stomatal densities in tomatoes. *Euphytica*, *215*, 120. https://doi.org/10.1007/s10681-019-2444-z
37. Mousapour, H., & Asgharipour, M.R. (2015). Effects of drought stress and its interaction with silicon on the antioxidant system and lipid peroxidation rate in fennel (*Foeniculum vulgar*). *Plant Process Function*, *5*(16), 71–85.
38. Naiemi, T., Fahmide, L., & Fakheri, B. (2018). The effect of drought stress on the antioxidant enzyme activity, proline content, and carbohydrates in seedling stage of *Triticum turgidum* L. in some genotypes of durum wheat. *Jcb*, *10*(26), 22–30.
39. Nawab, A., & Anjum, M. M. (2017) Effect of different nitrogen rates on growth, yield and quality of maize. *Middle East Journal of Agriculture*, *6*(1), 107-112.
40. Quemada, M., & Gabriel, J.L. (2016). Approaches for increasing nitrogen and water use efficiency simultaneously. *Global Food Security*, *9*, 29-35. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.05.004
41. Raja, V., Qadir, S.U., Alyemeni, M.N., & Ahmad, P. (2020). Impact of drought and heat stress individually and in combination on physio-biochemical parameters, antioxidant responses, and gene expression in *Solanum lycopersicum*. *Biotech*, *10*(5), 208. https://doi.org/10.1007/s13205-020-02206-4
42. Rawat, K.S., Singh, S.K., & Gautam, S.K. (2018). Assessment of groundwater quality for irrigation use: a peninsular case study. *Applied Water Science*, *8*, 233. https://doi.org/10.1007/s13201-018-0866-8
43. Salehi-Lisar, S.Y., Rahman, I.M., Hossain, M.M., & Motafakkerazad, R. (2012). Water stress in plants: causes, effects and responses. Available from https://www.intechopen.com/books/water-stress/water-stress-in-plants-causes-effects-and-responses.
44. Shahien, M.M., Abuarab, M.A., & Hassan, A.M. (2012). Effects of regulated deficit irrigation and phosphorus fertilizers on water use efficiency, yield and total soluble of tomato. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, *12*(10), 1295–1304. https://doi.org/10.13031/aim.20131559786
45. Shariatpanahi, S.N., Hoodaji, M., Mahmoudi, M., Alizadeh Navaei, R., & Talebi Atooe, M. (2021). Evaluation of nitrate status in drinking water and vegetables of savadkuh and simorgh counties and its relationship with the prevalence of gastrointestinal cancers. *Journal of Environmental Studies*, *47*(4), 445-460. https://doi.org/10.22059/jes.2021.332547.1008239
46. Singh, P., Choudhary, K.K., Chaudhary, N., Gupta, S., Sahu, M., Tejaswini, B., & Sarkar, S. (2022). Salt stress resilience in plants mediated through osmolyte accumulation and its crosstalk mechanism with phytohormones. *Frontiers in Plant Science*, *26*(13), 1006617. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1006617
47. Sivakumar, R., & Srividhya, S. (2016). Impact of drought on flowering, yield and quality parameters in diverse genotypes of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Advances in Horticultural Science*, *30*, 311. https://doi.org/10.13128/ahs-18696
48. Tamburino, R., Vitale, M., Ruggiero, A., Sassi, M., Sannino, L., & Arena, S. (2017). Chloroplast proteome response to drought stress and recovery in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *BMC Plant Biology*, *17*(40), 114. https://doi.org/10.1186/s12870-017-0971-0
49. Wan, S., Kang, Y., Wang, D., Liu, S.P., & Feng, L.P. (2007). Effect of drip irrigation with saline water on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) yield and water use in semi-humid area. *Agricultural Water Management*, *90*(1-2), 63-74. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.02.011
50. Wang, F., Kang, S., Du, T., Li, F., & Qiu, R. (2011). Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments. *Agricultural Water Management*, *98*, 12281238. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.03.004
51. Wang, S., Guan, K., Wang, Z., Ainsworth E.A., Zheng, T., Townsend, P.A., Li, K., Moller, C., Wu, G., & Jiang, C. (2021). Unique contributions of chlorophyll and nitrogen to predict crop photosynthetic capacity from leaf spectroscopy. *Journal of Experimental Botany*, *72*(2), 341-354. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa432
52. Wang, Z., Zhang, W., Beebout, S., Zhang, H., Liu, L., Yang, J., & Zhang, J. (2016). Grain yield, water and nitrogen use efficiencies of rice as influencedby irrigation regimes and their interaction with nitrogen rate. *Field Crops Research*, *193*, 54–69. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.03.006
53. Xia, H., Xu, T., Zhang, J., Shen, K., Li, Z., & Liu, J. (2020). Drought-induced responses of nitrogen metabolism in *Ipomoea batatas*. *Plants*, *9*, 1341. https://doi.org/10.3390/plants9101341

54. Zeinali Pour, N., Aghebati, F., & Nejhad Shahrokh Abadi, B. (2024). Study the effects of salicylic acid and γ-aminobutyric acid on some physiological characteristics of seedling and yield of *Lycopersicum esculentum* cv. Seyran. *Journal of Horticultural Science*, *37*(4), 949-962. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JHS.2023.79509.1208